



Mikronäringsämnen i svensk spannmål

Halter, mängder och flöden för höstvet, vårkorn och havre

Micronutrients in Swedish cereals
concentrations, amounts and flows for winter wheat,
spring barley and oats



Karin Hamnér, Holger Kirchmann och Jan Eriksson

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för mark och miljö

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil and Environment

Rapport 9.
Uppsala 2012
ISBN
978-91-576-9093-7

Innehåll

Abstract	1
Sammanfattning	2
Bakgrund	3
Material och metoder	4
Halter av mikronäringsämnen i spannmål.....	4
Mängder av mikronäringsämnen i spannmål	5
Flöden och fältbalanser av mikronäringsämnen för höstveteodling med olika gödsling.....	5
Resultat och diskussion	7
Halter av mikronäringsämnen i svenska spannmålskärnor	7
Bor (B).....	8
Koppar (Cu).....	8
Järn (Fe).....	9
Mangan (Mn).....	9
Molybden (Mo)	10
Nickel (Ni).....	10
Zink (Zn)	10
Toxiska halter av mikronäringsämnen	11
Halter av mikronäringsämnen i halm	11
Mängder av mikronäringsämnen i en årsskörd av svensk spannmål	12
Flöden och fältbalanser av mikronäringsämnen för höstveteodling med olika gödsling.....	12
Bortförsel med skörd	13
Tillförsel via deposition	13
Tillförsel via gödselmedel.....	14
Förluster via utlakning	15
Balanser för olika gödslingsstrategier	15
Balansernas praktiska betydelse.....	16
Slutsats	18
Referenser.....	19
Appendix	22

Abstract

Crops need several micronutrients to be able to complete their lifecycle and to produce high yields. This report aims to give an overview of micronutrients in Swedish cereals. Concentrations and amounts in cereal grains are presented for winter wheat, spring barley and oats. Figures are based on data from the Swedish environmental monitoring program on arable soils. Reported concentrations were compared with critical concentrations for deficiency and toxicity levels for cereals. One can conclude that concentrations in Swedish cereals are far from being in the range of toxic levels concerning the crop. However, Mo concentrations in some of the samples are high enough to cause molybdenosis in ruminants, often in combination with low Cu-concentrations. Otherwise, low concentrations of micronutrients are more common in Swedish cereals. A relatively large portion of the samples have copper or manganese concentrations that could cause deficiency and yield losses. Also concentrations of nickel are low and should be paid attention since low levels could cause a decrease in germination capacity. Deficiency limits for micronutrients in cereal crops have to be further investigated in order to determine the extent of possible micronutrient problems in Swedish cereals.

The report includes flows and balance calculations for micronutrients in winter wheat cropped with different fertilization strategies. The role of different sources for the in- and output of micronutrients was shown and long-term consequences of different fertilization strategies were outlined. Farms without any input of organic fertilizers have negative balances for all micronutrients, but rates of depletion in terms of total amounts in soil are slow. In contrast, fields that are fertilized with sewage sludge or farmyard manures are slowly enriched with micronutrients. Changes in the plant availability of micronutrients are a key issue for the understanding of trends in crops. Also the plant availability of micronutrients added with organic fertilizers is an issue that requires further investigation.

Sammanfattning

Grödor är i behov av ett antal mikronäringsämnen för att fullborda sin livscykel och för att optimal skörd ska kunna uppnås. Denna rapport syftar till att ge en samlad bild vad gäller svensk spannmål och mikronäringsämnen. Halter och mängder av mikronäringsämnen i spannmålskärnor redovisas för höstvet, vårkorn och havre. Siffrorna bygger på data från det svenska miljöövervakningsprogrammet *Mark- och grödoinventeringen*. De uppmätta halterna har jämförts med kritiska koncentrationer för brist och toxicitet i växten. Det kan konstateras att halterna i svensk spannmål oftast ligger långt ifrån skadligt höga nivåer för växten. Lokalt kan det dock finnas höga halter av vissa ämnen som framkommer i detta rikstäckande material. Höga halter av molybden kan också orsaka problem med molybdenförgiftning när spannmålen används som foder åt framförallt nötkreatur och får. När det gäller risk för brist på mikronäringsämnen är det främst av koppar och mangan som halterna understiger de kritiska värdena i ett flertal prover. Även låga nickelhalter i svensk spannmål bör uppmärksammas eftersom detta kan orsaka försämrad grobarhet. Var de kritiska värdena för brist ligger för de olika ämnena och för olika spannmålsgrödor behöver utredas ytterligare för att kunna avgöra hur stora problemen med låga halter i svensk spannmål är.

I sammanställningen finns även flödes- och balansberäkningar vid olika gödslingsstrategier. Dessa redovisningar ger information om till- och frånflödena av mikronäringsämnen från ett fält. Balanserna möjliggör också en jämförelse mellan fält med olika typer av gödsling och vilka konsekvenser detta får i ett längre perspektiv. På en växtodlingssgård utan tillförsel av organiska gödselmedel är balansen negativ, men utarmningen av marken går mycket långsamt. På fält som får kontinuerlig tillförsel av avloppsslam eller stallgödsel sker istället en anrikning av mikronäringsämnen i marken. I jämförelse med de mängder som finns i markens förråd är tillförseln dock väldigt liten och betydelsen för växtens försörjning beror i hög grad på hur lättillgängliga de olika ämnen i de organiska gödselmedlen är, något som är oklart i dagsläget.

Bakgrund

Växter är i behov av ett antal mikronäringsämnen för att fullborda sin livscykel och för att optimal skörd ska kunna uppnås. Utifrån den kunskap vi har i dagsläget är sju mikronäringsämnen essentiella för växter: bor (B), koppar (Cu), järn (Fe), mangan (Mn), molybden (Mo), nickel (Ni) och zink (Zn). Dessa ämnen fyller viktiga funktioner i växten och kan inte ersättas av något annat ämne för att växten ska kunna fullgöra sin livscykel. Vissa ämnen ingår i fotosyntesen, andra i kolhydrat- eller proteinsynteser och alla ingår dessutom i olika enzymer (Kirchmann et al., 2010). För kvävefixerande grödor behövs även kobolt (Co) för att kvävefixeringen ska fungera men detta ämne anses inte vara essentiellt. Förutom de för växten essentiella ämnena finns även flera spårämnen som är livsnödvändiga för människor och djur och där vegetabilier kan vara en viktig källa, t.ex. kobolt (Co) och selen (Se) (Kirchmann et al., 2010). Innehållet av dessa ämnen i grödan är därför av betydelse när det gäller livsmedelskvalitet, men de behandlas inte i sammanställningen eftersom fokus här ligger på växternas behov.

När det gäller makronäringsämnen såsom t.ex. kväve, fosfor och kalium är halterna i grödorna och grödornas behov väl undersökt och dokumenterat. För mikronäringsämnena är situationen något sämre då aktuella uppgifter om hur halter och mängder ser ut i svenska grödor är knapphändiga. År 1971 gav Olof Svanberg ut sammanställningen ”De svenska skördeprodukternas innehåll av växtnäringsämnen”, där halter av makro- och mikronäringsämnen i olika grödor redovisades (Svanberg, 1971). Syftet med vår rapport är att uppdatera samt komplettera Svanbergs dataredovisning. Den här sammanställningen är begränsad till att omfatta enbart mikronäringsämnen i spannmål men materialet har istället utökats till att även innehålla mängder i spannmål samt även flöden och balanser för de för växten essentiella mikronäringsämnena. Siffrorna i rapporten är grundade på data från miljöövervakningsprogrammet *Mark- och grödoinventeringen*, vars syfte är att analysera och utvärdera tillståndet i svensk åkermark. En grundlig utvärdering och analys av dessa data har gjorts av Eriksson et al. (2000; 2010). Siffror för ett stort antal ämnen (makro- och mikronäringsämnen samt övriga spårämnen) i både jord- och kärnprover finns där redovisade. I vår sammanställning behandlas mikronäringsämnen i spannmål med syfte att presentera data från miljöövervakningsprogrammet mera i detalj, inkludera information om mängder i grödan samt flöden till och från fältet. Sedan Erikssons rapporter skrevs har också kompletterande analyser av B och Fe gjorts. I den svenska litteraturen finns ett antal sammanställningar som redovisar mängder av olika spårämnen i olika produkter, bl.a. i olika typer av gödselmedel och i nederbörd (Eriksson, 2001; Andersson, 1992). Resultat från dessa rapporter har använts vid balansberäkningar i denna rapport.

Syftet med denna rapport är att ge en övergripande bild vad gäller mikronäringsämnen i svensk spannmål. Följande frågeställningar behandlas: (1) Hur ser halterna av mikronäringsämnen ut i svensk spannmål? (2) Finns det problem med brist av mikronäringsämnen? (3) Hur skiljer sig halterna åt mellan de olika grödorna? (4) Vilka mängder av mikronäringsämnen förs bort med skördeprodukterna? (5) Vilka och hur stora flöden av mikronäringsämnen sker till och från ett fält? (6) Sker en utarmning eller en anrikning av mikronäringsämnen i marken?

Material och metoder

I miljöövervakningsprogrammet *Mark- och grödoinventeringen* tas jord- och växtprover från åkermark med tioårsintervall och underlaget till vår sammanställning är hämtade från de två hittills genomförda provtagningsomgångarna, nämligen 1988-1995 samt 2001-2007.

Markprover togs som täcker in åkermarksarealen i hela landet. Urvalet av provplatser utfördes av Statistiska Centralbyrån (SCB) och provpunkterna bestämdes genom ett systematiskt urval där ett rutnät med slumpmässig startpunkt lades ut över landet. Denna metod ger provpunkter som är jämnt spridda över landets åkerareal och provpunkternas frekvens varierar geografiskt med andelen åkermark i regionen; ju större andel åkermark i ett område desto tätare mellan provpunkterna. Under de två provtagningsomgångarna har över 5 000 matjordsprover (0-20 cm) tagits. För detaljerad beskrivning av provpunkter och provtagning, se Eriksson et al. (2000; 2010). Om spannmål eller vall odlades på platsen där jordprovet togs har även ett grödprov tagits på samma plats. I denna sammanställning redovisas siffror för höstvet, vårkorn och havre. Datamaterialet för dessa grödor består av ca 900 kärnprovsanalyser av höstvet, ca 620 av vårkorn samt ca 430 av havre. För B och Fe är materialet begränsat till ca 300 höstveteprover. Eftersom det förekommit en viss styrning mot gröda i enskilda delprovtagningar är grödurvalet inte helt representativt för åkermarken som helhet. Vi bedömer dock att provpunkterna är så pass representativa för landet att de lämpar sig för en fördjupad analys.

Sammanställningen består av tre delar som behandlar (1) halter av mikronäringsämnen i spannmål, (2) mängder av mikronäringsämnen i spannmål samt (3) exempel för flöden och balansberäkningar för höstvetodling med olika gödslingsstrategier. Metodik och analysförfaranden för respektive del beskrivs nedan.

Halter av mikronäringsämnen i spannmål

Halterna av de olika mikronäringsämnena redovisas för respektive gröda. För B och Fe finns data endast för höstvet. Halterna är indelade i tre nivåer som bygger på percentiler av proverna. *Låg halt* definieras som halten i de 25 % av proverna som har de lägsta värdena, *medelhalt* innefattar 25-75 % -percentilen och de 25 % av värdena som motsvarar de högsta halterna klassas som *hög halt*. Genom denna indelning visas på ett tydligt sätt i vilket intervall merparten av analysvärdena ligger. Även medel- och medianhalter samt min- och maxhalter redovisas. Analysvärdena för flertalet av ämnena är inte normalfördelade. Ett fåtal analysvärden uppvisar mycket höga halter vilket gör att de får oproportionerligt stor vikt i beräkningen av medelvärde. Medianvärdet anses därför ge ett bättre mått på den genomsnittliga halten. För att kunna göra rättvis jämförelser med halter i andra länder som finns redovisade i litteraturen används dock medelhalterna. Jämförelse görs också med litteraturvärden för nivåer som kan ge brist respektive toxicitet för varje ämne.

Analys för koncentrationsbestämning av mikronäringsämnen gjordes med en ICP-SFMS (masspektrometri med induktivt kopplad plasma och sektorsteknik). För fullständig information om analysförfarande, se Eriksson (2000; 2010). ICP-SFMS är en känslig mätmetod som kan detektera mycket låga koncentrationer, vilket ofta är fallet för flera mikronäringsämnen, framförallt Mo och Ni. Trots detta hamnar många av proverna under detektionsgränsen ($0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ ts) när det gäller Ni, vilket innebär att de exakta halterna i ett flertal av proverna inte kan fastställas. En viss osäkerhet har också förekommit kring analysresultaten av Ni. Jämförelser med referensvärden (certifierade standardprov) tydde på att de uppmätta halterna var underskattningar av de verkliga koncentrationerna. En omanalys gjordes därför på ett urval av proverna och resultaten visade att de ursprungliga Ni-

koncentrationerna trots allt var tillförlitliga och kunde användas i vidare utvärderingar. Analyser gjordes på hela kärnor för att undvika kontaminering från malning.

I miljöövervakningsprogrammet saknas uppgifter om mikronäringsämnenas halter i halm. En litteraturgenomgång gjordes för att utreda hur halterna normalt fördelar sig i växten mellan kärna och halm för respektive ämne. Utifrån litteraturdata har sedan halterna i halm beräknats genom att utgå från medianvärden för kärnproverna av höstvetete, vårkorn respektive havre och räkna om dessa till koncentrationen i halm utifrån uppgifter om hur stor andel som normalt återfinns i kärna respektive halm. Ett skördeindex på 0,50 har antagits i beräkningarna, dvs. att halm- och kärnskörd är lika stora.

Mängder av mikronäringsämnen i spannmål

För att visa vilka mängder av mikronäringsämnen som förs bort med skörden av spannmålsgrödor har beräkningar gjorts för tre olika skördenivåer för respektive gröda. För höstvetete är nivåerna satta till 4 000, 6 000 resp. 8 000 kg ha⁻¹ (14 % vattenhalt). För vårkorn och havre är motsvarande siffror 2 500, 4 000 resp. 6 000 kg ha⁻¹. De tre skördenivåerna är baserade på normskördar (medelskördar för de senaste 15 åren) för respektive gröda för de län med lägst skördenivå, för hela landet i medeltal respektive de län med högst skördenivå (SCB, 2011). För att underlätta jämförelsen mellan de olika grödorna har en viss anpassning gjorts så att samma skördenivå finns redovisade för de olika grödorna. Vid framräkningen av mängderna har normskördarna räknats om till torrsubstans och medianhalterna för respektive ämne har använts. Inga korrigeringar av halterna har gjorts för de olika skördenivåerna. Man skulle kunna tänka sig att en hög skörd generellt innebär en lägre koncentration i grödan som ett resultat av ”utspädning” i växten. Det finns dock inga belägg för detta i dataunderlaget och denna aspekt har därför inte tagits hänsyn till vid beräkningarna. Siffror på mängderna som förs bort med skörden gäller kärnskörd.

Flöden och fältbalanser av mikronäringsämnen för höstvetesodling med olika gödsling

För att klarlägga hur stor till- och bortförseln av mikronäringsämnen från ett fält är har de huvudsakliga flödena till och från fältet inkluderats. Flödena har också använts till att beräkna fältbalanser för mikronäringsämnen. Mikronäringsämnen tillförs marken dels genom olika gödselmedel och dels genom atmosfäriskt nedfall (deposition). En viss tillförsel av mikronäringsämnen kan också ske genom kalk och växtskyddsmedel. Tidigare beräkningar visar att dessa flöden oftast är mycket små (Andersson, 1992) och dessa poster har därför inte tagits med i beräkningarna. Bortförsel av mikronäringsämnen från fältet sker genom skördeprodukterna samt utlakning från markprofilen. Avgång av metaller i gasform är bara kända för selen- och kvicksilverföreningar och har därför inte inkluderats. Ämnet Fe har inte tagits med i beräkningarna då det saknas data vad gäller innehållet i de olika gödselslagen.

Flöden och balansberäkningar har gjorts för höstvetesodling i fyra scenarier med olika gödsling: (1) mineralgödsel, (2) avloppsslam, (3) flytgödsel från slaktsvin samt (4) flytgödsel från mjölkcor. Dessa gödselmedel är allmänt använda i svenskt lantbruk och representerar också skillnader i flöden av mikronäringsämnen för olika djurslag, idisslare respektive enkelmagade djur. Tillförsel av avloppsslam till åkermark har länge varit en kontroversiell fråga. I takt med att kvalitetskraven på slammet skärpts har dock motståndet mot spridning på åkermark minskat på senare år och avloppsslam sprids idag ganska frekvent i vissa områden i Sverige. Det är därför av intresse att se hur stor tillförseln av olika mikronäringsämnen är genom avloppsslam. Vid gödsling med mineralgödsel (scenario 1), tillförs fosfor i en mängd som ungefär motsvarar bortförseln med grödan, 15-20 kg P per ha och år, i form av NPK-S 21-4-7. Vid gödsling med avloppsslam samt stallgödsel (scenario 2-4), tillförs den maximalt tillåtna mängden fosfor (för jordar i P-AL-klass III-V), nämligen 22 kg P per ha och år, vilket

också ofta sker i praktiken. På växtodlingsgårdar med inköpta P-gödselmedel i form av mineralgödsel är tillförseln av P oftast begränsad till att täcka grödans årliga behov på ca 15-20 kg P och är därmed lägre än på djurgårdar. För flödesberäkningar har innehållet av mikronäringsämnen i mineralgödsel och avloppsslam från Eriksson (2001) använts. Mikronäringsinnehållet i gödselmedel varierar och valet av gödselmedel påverkar balansberäkningarna. Stallgödselns innehåll av mikronäringsämnen är hämtade från Steineck et al. (1999) förutom för B och Mo där siffror från Eriksson (2001) har använts. Data från Eriksson (2001) härstämmer från samma material som tidigare analyserades av Steineck et al. (1999), men analysvärdena är baserade på ett mindre antal prover.

Siffror för metalldeposition har tagits från IVL Svenska Miljöinstitutet som kartlägger nedfall genom metallanalyser av mossor (IVL, 2008). Metallinnehållet i mossor har räknats om till deposition i gram per hektar och år (koncentrationen i mossor, mg kg^{-1} ts $\approx 4 \times$ totala depositionen, $\text{mg m}^{-2} \text{år}^{-1}$) (Naturvårdsverket, 1993). För B, Mn och Mo saknas dock data från mossmätningar. För dessa ämnen har uppskattningar för medeldepositionen för landet gjorts efter siffror från Eriksson (2001). Eriksson redovisar halter av spårelement i nederbördsvatten från en plats på västkusten. Relaterar man de värdena till mosskarteringarna visar det sig att medeldepositionen för landet är lägre och utgör motsvarande 70 % av depositionen på västkusten. För B, Mn och Mo har därför 70 % av de redovisade värdena i Eriksson (2001) antagits som ett medeltal för beräkningen. Depositionen av dessa ämnen kan dock både vara högre eller lägre än den vi antagit. Bor kommer t.ex. till stor del från havssalter och man kan därför tänka sig att det beräknade värdet för B är överskattat. Trots bättre rökgasrening i industrier, förbränningsanläggningar och kolkraftverk, som har lett till att mängderna av olika mikronäringsämnen som deponeras via luften har minskat under de senaste decennierna, måste depositionen beaktas i en balansberäkning eftersom flödet fortfarande är betydande för vissa ämnen.

När det gäller bortförsel av mikronäringsämnen med grödan är dessa baserade på beräkningar för de tre olika skördenivåerna av höstvet: 4 000, 6 000 samt 8 000 kg ha^{-1} (14 % vattenhalt). Bortförseln avser enbart kärnskörd.

Utlakning genom markprofilen är den andra vägen för bortförsel av mikronäringsämnen från fältet och data på utlakning är hämtade från Andersson et al. (1988). Dataunderlaget för utlakning är dock begränsat och enbart utlakningssiffror från fyra mineraljordar (sand till lera) har använts. Siffror på utlakningens storlek gäller för hela markprofilen ner till dräneringsdjup. Detta kan leda till något missvisande resultat när man utifrån balanserna räknar på förändringstakten av halterna av mikronäringsämnen i marken, eftersom beräkningarna i övrigt görs på enbart matjorden. Utlakningsdata presenteras dels som den mängd som transporteras löst i markvätskan och dels som mängd som lakas ut i partikelbunden form (lerjord).

Slutligen har det i balansberäkningarna antagits att ingen specifik gödsling med något mikronäringsämne sker.

Resultat och diskussion

Halter av mikronäringsämnen i svenska spannmålskärnor

Medelhalterna av mikronäringsämnen i spannmålskärnor redovisas i tabell 1 för höstvete, korn resp. havre. I appendix, tabell 1-3, finns också mer detaljerad information med halterna indelade i tre nivåer, låg, medel och hög. Denna fördelning bygger på uppdelning av analysvärden i percentiler (se *Material och metoder*). I tabellerna anges också litteraturvärden för halter som kan ge upphov till brist respektive toxicitet. Indelningen av halterna baserat på percentiler är oberoende av litteraturens kritiska värden. Litteraturdata har bifogats för att visa var på skalan mellan brist och toxicitet halterna i svensk spannmål ska inordnas. De kritiska värdena för brist respektive toxicitet är hämtade från olika källor som har använt olika analysmetoder och olika växtdelar för analys. Det är svårt att uttala sig om hur stor andel av

Tabell 1. Medelhalter av mikronäringsämnen i svenska spannmålskärnor (höstvete, vårkorn och havre) samt uppskattade halter i halm. Kärnhalter hämtade från miljöövervakningens data (Eriksson et al. 2000; 2010). Se tabell 1-5 i appendix för detaljerad information

Table 1. Mean concentrations of micronutrients in Swedish cereal grains based on the Swedish monitoring programme and calculated concentrations in cereal straw

Ämne	Medelhalt kärna (mg kg ⁻¹ ts)			Uppskattad medelhalt halm ^a
	Höstvete	Vårkorn	Havre	
B	0,88	i.u.	i.u.	2,1
Cu	3,90	4,56	3,60	2,7
Fe	37,4	i.u.	i.u.	60
Mn	28,7	15,3	44,9	47
Mo	1,00	0,88	0,95	1,2
Ni	0,18 ^b	0,07 ^b	1,25	0,9
Zn	26,4	31,7	33,7	17

^a Uppskattningen av halten i halmen utgår från medelhalten i kärnan av höstvete, vårkorn och havre (medelhalt) och ett skördeindex på 0,50

^b Många värden under detektionsgränsen (=0,05 mg kg⁻¹)

proverna som har halter som indikerar brist eftersom kritiska koncentrationer för mikronäringsämnen i kärnor inte är väl dokumenterade. I litteraturen återfinns ofta endast siffror på uppskattade bristgränser i den växande grödan. Endast Cu, Ni och Fe har analyserats på kärnor, men också för dessa ämnen är det osäkert vilka koncentrationer som är kritiska. Koncentrationen av olika ämnen i den växande plantan skiljer sig ofta från dem i kärnan p.g.a. ofullständig omlagring och att olika ämnen behövs i olika hög grad i kärnan. Ofta påverkas de kritiska halterna även av andra faktorer, t.ex. av halten av andra ämnen. De angivna litteraturdata måste ses som riktmärken och bör inte tolkas som väldefinierade gränskoncentrationer.

Analyserna av kärnhalterna gjordes på hela kärnor som de ser ut efter en normal tröskning, dvs. för korn och havre, men inte för vete, satt de yttre skaldelarna kvar. Detta bör tas i beaktande vid tolkning av resultat och vid jämförelser mellan de olika grödorna. Studier visar dock att halterna av flertalet mikronäringsämnen i kornkärnans skaldelar inte i någon större utsträckning skiljer sig från dem i kärnan som helhet (Liu et al., 2007; Lombi et al., 2011). I dessa studier var halterna av Mn, Cu och Zn något lägre i skalet än i hela kärnan, medan förhållandet var det omvända för Fe. Liknande studier för havre eller för övriga mikronäringsämnen har inte hittats i litteraturen.

Bor (B)

Borbrist är globalt ett stort problem som orsakar drastiska skördesänkningar på många platser. Ett område på flera hundra tusentals hektar som sträcker sig över Indien, Nepal och Bangladesh är förmodligen det mest vidsträckta området med omfattande borbrist i världen (Rerkasem & Jamjod, 2004; Singh, 2008). Svenska jordar innehåller generellt relativt låga halter av bor. Detta är karakteristiskt för länder med humitt klimat, vilket beror på att bor lätt utlakas från markprofilen. Bor tillförs regelbundet till flera grödor, t.ex. sockerbetor, klöverfrö och till viss del oljeväxter, för att undvika skördesänkningar. Spannmål och övriga monokotyledoner verkar vara mindre känsliga för låga borhalter i marken än många dikotyledoner, vilket också avspeglar sig i att halterna i grödan är lägre. Trots detta kan även vete drabbas av borbrist under blomningen, som är en kritisk fas i plantans utveckling, eftersom borhalten påverkar livskraften hos pollen och därmed befruktningen hos plantorna. Låga borhalter i växten under blomning kan därmed resultera i försämrad kärnsättning (Marschner, 1995; Rerkasem & Jamjod, 2004). Låga borhalter i kärnorna har också visat sig ge försämrad grobarhet och livskraft hos groddplantor av flera grödor (Rerkasem et al., 1997). Halterna i de analyserade höstveteproverna ligger på ca 0,9 mg kg⁻¹ torrsubstans (ts) i medelhalt med intervallet 0,6-1,5 mg kg⁻¹ ts. Medelhalten är låg i jämförelse med den i flera andra länder. Finland har medelhalter på 1,2 mg kg⁻¹ ts, i Storbritannien och USA är motsvarande siffra 2-3 mg kg⁻¹ ts. Spannmål från Kanada och Polen har också låga halter i nivå med de i Sverige (Kabata-Pendias, 2001). Det har varit svårt att hitta referensvärden för borhalter i kärnan som kan förorsaka brist. Eftersom det verkar vara stora koncentrationsskillnader mellan växande plantor och kärnan går det inte att jämföra litteraturvärden för kritiska koncentrationer i växtens gröna växtdelar med de halter som här uppmäts i kärnan. Halter i jord som anses förorsaka brist ligger mellan 0,1 och 0,4 mg vattenlösligt bor kg⁻¹ jord (Li et al., 1978; Rerkasem & Longeragan, 1994). Enligt data från miljöövervakningsprogrammet ligger medianhalten av vattenlösligt bor i svensk åkermark på ca 0,4 mg kg⁻¹, men endast ca 2 % av jordproverna uppvisar halter på mindre än 0,1 mg kg⁻¹. Jämförelsen med litteratordata blir dock något osäker eftersom det finns olika metoder för att analysera vattenlösligt bor och det är oklart om referensernas metod är densamma som den som använts i miljöövervakningens analyser. I nuläget går det inte att fastställa om det finns problem med borbrist i svenskt vete utan ytterligare studier. Det är dock osannolikt att bor skulle orsaka stora skördesänkningar i spannmål eftersom det är svårt att påvisa någon betydande skördeökning vid tillförsel av bor till oljeväxter, som anses vara en mer krävande gröda än vete när det gäller bor. Bors inverkan på grobarhet och livskraft hos groddplantor i spannmål bör utredas vidare.

Koppar (Cu)

Halten av koppar i svensk spannmål ligger på en lägre nivå än i många andra länder, däribland våra grannländer Norge och Finland (Kabata-Pendias, 2001). Medelhalterna ligger på 3,9, 4,6 och 3,6 mg Cu kg⁻¹ ts för höstvete, korn respektive havre med min- och maxhalter på 1,0 resp. 12 mg kg⁻¹ ts. I Norge och Finland ligger medelhalterna på ca 5,0-5,5 mg kg⁻¹ i spannmål. Det finns problem med låga kopparhalter i grödor i vissa delar av Sverige, främst i delar av södra och sydvästra Sverige. I dessa regioner har synliga kopparbristsymptom observerats i spannmål. Många mulljordar har också påtagliga problem med låga kopparhalter. Gränsen för brist, dvs. när låga halter ger en skördepåverkan, är inte känd, men enligt litteraturen ligger alla observationer där en skördebegränsning konstaterats mellan 2 och 3 mg Cu kg⁻¹ ts (Fageria, 2002; Kabata-Pendias, 2001; Kirchmann & Eskilsson, 2010; Sinclair & Edwards, 2008). Om dessa värden tillämpas skulle mellan 3 och 25 % av spannmålen i Sverige ha för låga halter av koppar för en optimal skörd. Äldre svenska fältförsök har också påvisat skördeökningar vid Cu-gödsling till spannmål på ett flertal platser (Carlgren, 2003; Lundblad & Johansson, 1956). I närliggande länder som Danmark, Finland och Tyskland anses 20-25

% av åkerarealen kunna ge Cu-brist i grödor (Sinclair & Edwards, 2008). Med andra ord, förmodligen finns det en dold Cu-brist i svensk spannmål som kan påverka skörden utan att synliga bristsymptom uppträder. Vilka halter som är kritiska behöver dock utredas i mer detalj för att kunna avgöra hur stort problemet med kopparbrist är i svensk spannmål.

Järn (Fe)

Järn förekommer i mycket stora mängder i jord och brist p.g.a. låga totalhalter i marken kan alltid uteslutas. Däremot kan den växttillgängliga delen vara liten och därmed orsaka brist i grödorna. Det är svårt att analysera järn i växter eftersom minsta kontaminering med jorddamm ger halter som är betydligt högre än vad växten egentligen innehåller. Enligt analyserna ligger medelvärdet för svenskt höstvetete på ungefär 37 mg Fe kg⁻¹ ts med ett intervall på 21 till 206 mg kg⁻¹ ts. De högsta uppmätta halterna kan dock vara orsakade av kontaminering från jord. Endast höstveteprover är analyserade i miljöövervakningen, men litteraturdata tyder på att övriga spannmålsslag i regel har högre halter i kärnan än höstvetete. I Finland är t.ex. medelhalterna i korn och havre 50-60 mg kg⁻¹ medan halterna i höstvetete ligger på 31 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias, 2001). Detta skulle dock delvis kunna förklaras med att havre och korn ofta analyseras med skalet kvar. Analysresultaten kan då uppvisa högre koncentrationer av Fe eftersom halterna av detta ämne ofta är högre i skalet än i kärnan som helhet (Liu et al., 2007; Lombi et al., 2011). När det gäller kritiska koncentrationer för brist är det svårt att hitta sådana i litteraturen, särskilt när det gäller halter i kärnan. I en studie uppmättes järnhalterna i höstvetekärnor till 26 mg kg⁻¹ ts och dessa plantor visade inga tecken på järnbrist under någon del av utvecklingen (Garnett & Graham, 2005). Bland de analyserade proverna hade knappt 5 % halter under 26 mg kg⁻¹. Man kan tänka sig att en dold brist kan ge skördesänkningar även över denna nivå och att olika grödor eller sorter är olika känsliga. Trots det kan man dra slutsatsen att järnbrist inte verkar vara något större problem i svensk höstvetedodling och förmodligen inte för övriga spannmålsslag heller.

Mangan (Mn)

Mangan finns oftast, liksom järn, i höga koncentrationer i marken. Lösligheten och därmed växttillgängligheten kan dock vara begränsande. Lösligheten är väldigt känslig både för pH och syretillgång (redox-miljö) i marken och höga pH-värden kan speciellt på sandiga jordar förorsaka brist. I en internationell jämförelse ligger manganhalterna i svensk spannmål under eller i nivå med dem i många andra länder (Kabata-Pendias, 2001). Medelhalterna för de tre spannmålsgrödorna höstvetete, korn och havre ligger på ca 29, 15 respektive 45 mg Mn kg⁻¹ och halterna varierar mellan 4 och 116 mg kg⁻¹. Detta visar på stora skillnader mellan grödorna där halterna i korn är betydligt lägre än i havre och där höstvetete intar en mellanställning. Liknande skillnader mellan grödor har uppmätts även i andra länder. I Finland är t.ex. medelhalten i korn 24 mg kg⁻¹ medan medelhalten i havre är 70 mg kg⁻¹. Analysresultaten tyder på att halterna i en viss del av spannmålsproverna understiger optimala värden, framförallt i korn. Den nivå som anges i litteraturen som anses kunna orsaka brist ligger på 10-20 mg kg⁻¹ (Alloway, 2008; Bergmann, 1992; Fageria, 2002; Kabata-Pendias, 2001; Marschner, 1995). Detta är ett stort intervall och värdena och baseras dessutom på gröna växtdelar och inte kärnor. Vilken siffra som används påverkar i mycket hög grad andelen platser med potentiell manganbrist och eftersom Mn är svårörligt i floemet kan det vara svårt att jämföra halter i växande gröda och kärna. Det är också möjligt att korn har ett lägre manganbehov, vilket måste beaktas vid tolkningen av data. För att få en bättre uppfattning om hur stort problemet med manganbrist är i svensk spannmål behöver de kritiska koncentrationerna definieras bättre.

Synliga symptom på manganbrist uppträder ofta i fält, främst i vårsäd under plantans tidiga utvecklingsstadier, men dessa är ofta tillfälliga. Symptomen försvinner mestadels igen när

reducerande förhållanden i marken uppstår, t.ex. efter kraftig nederbörd. Det är oklart om och vilken effekt denna temporära brist har på den slutgiltiga halten i grödan samt på skördenivån.

Molybden (Mo)

Molybdenhalten i svensk spannmål ligger högre eller i nivå med halter som rapporteras från många andra länder (Kabata-Pendias, 2001). Medelhalterna ligger på 1,0, 0,88 respektive 0,95 mg Mo kg⁻¹ för höstvet, korn och havre. Detta kan jämföras med medelhalter för spannmål i Norge och Finland på ca 0,2-0,3 mg kg⁻¹. Medianhalterna är dock betydligt lägre eftersom ett fåtal av proverna uppvisar mycket höga värden vilket gör att medelvärdet höjs. Om man relaterar halterna till en möjlig bristgräns på ca 0,1 mg kg⁻¹ (Alloway, 1968; Fageria, 2002; Kabata-Pendias, 2001; Marschner, 1995), kan man ändå konstatera att endast ca 0,3 % av alla spannmålsproverna ligger under denna nivå och att det därmed förmodligen inte föreligger några problem med Mo-brist i svensk spannmål. Några tecken på bristsymptom förorsakade av molybden har heller inte rapporterats för Sverige. Lokalt kan däremot för höga halter vara ett problem om grödan ska användas som foder åt idisslare (se vidare i avsnittet *Toxicitet*).

Nickel (Ni)

Den enda livsnödvändiga funktion som hittills har kunnat påvisas för Ni är ämnets roll som centralatom i enzymet ureas. Ureas bryter ner ureider (förrådslagring av kväve i form av kvävemetaboliter) vid groning. Alltför låga halter av Ni påverkar groningskapaciteten negativt och Ni anses därför vara nödvändigt för att växten ska kunna fullfölja hela livscykel (Brown et al., 1987a). Det har även påvisats en påverkan på tillväxten av spannmålsplanter genom att låga Ni-halter leder till ansamling av urea i framförallt bladspetsarna. Man har hittills inte kunnat påvisa någon skördenedsättning i mogen spannmål orsakad av låga Ni-halter, men däremot vid skörd av grönmassa av spannmålsplanter i tidigare utvecklingsstadier (Brown et al., 1987b).

Medelhalterna av Ni ligger på 0,18, 0,07 respektive 1,25 mg kg⁻¹ ts för höstvet, korn och havre. Stora skillnader föreligger mellan grödorna där korn har betydligt lägre halter än havre. I Finland ligger medelhalten på ca 0,27 mg kg⁻¹ i spannmål (0,14 mg kg⁻¹ för korn) och i Tyskland på ca 0,7 mg kg⁻¹. När man tittar på medianvärdena är dessa, i likhet med Mo, betydligt lägre än medelhalterna. Brown och medarbetare (1987a) visade att den kritiska koncentrationen i kornkärnor för optimal groning är ca 0,09 mg kg⁻¹ ts. Om detta värde tillämpas på kärnproverna av korn från miljöövervakningen visar det sig att ca 77 % av proverna har halter under den kritiska koncentrationen och skulle därmed kunna orsaka försämrad grobarhet. Om samma gränsvärde tillämpas på höstvet och havre ligger ca 29 % respektive 0,2 % under denna nivå. Det är dock oklart om den kritiska koncentrationen är densamma för vete och havre som för korn. Dessa resultat tyder på att en stor del av spannmålen, framförallt korn, i Sverige har Ni-halter som ligger så lågt att groningen skulle kunna påverkas negativt. Frågan om låga Ni-halter behöver dock undersökas ytterligare innan säkra uttalanden kan göras angående hur stort detta problem är i svensk utsädesproduktion av spannmål.

Zink (Zn)

Zinkbrist är ett stort problem globalt, främst i Afrika och Asien, men även i delar av USA, Australien och Europa (Alloway, 2008). Halterna i svensk spannmål är relativt sett högre än i andra länder i världen men i nivå med halter i andra europeiska länder (Kabata-Pendias, 2001). Medelhalterna för höstvet, korn och havre ligger på ca 26, 32 respektive 34 mg Zn kg⁻¹ med min- och maxhalter på 11 resp. 69 mg kg⁻¹. Detta kan jämföras med Norge, Finland och Polen som alla har medelhalter på ca 30 mg kg⁻¹ i spannmål, alltså på samma nivå som Sverige. Även de lägsta halterna i materialet ligger över den kritiska koncentrationen för brist

på 10-15 mg kg⁻¹ (Alloway, 2008; Fageria, 2002; Kabata-Pendias, 2001; Marschner, 1995). Detta tyder på att zinkbrist i svensk spannmål är ovanligt. Låga zinkhalter har dock uppmärksammats i växande spannmålsgrödor i flera svenska fältförsök (Frostgård & Olsson, 2012). Det behöver utredas vidare för att fastställa om detta kan ha någon inverkan på skörden.

Toxiska halter av mikronäringsämnen

Man kan konstatera att halterna av mikronäringsämnen i samtliga prover ligger under de kritiska värdena för toxicitet. Bara i undantagsfall är det sannolikt att svensk spannmål påverkas negativt av höga koncentrationer av mikronäringsämnen i marken. Däremot kan det finnas obalanser i grödan genom att en för hög halt av ett ämne i marken kan leda till brist på ett annat ämne i växten genom konkurrens vid upptaget. Höga halter av lättillgänglig zink i marken skulle t.ex. kunna ge upphov till inducerad brist av järn eller mangan (Kabata-Pendias, 2001). Obalanser i grödan kan också få effekter hos djur och människa. Ett exempel är molybden vars halter i svensk spannmål ligger långt ifrån toxiska nivåer för växten, men där halterna kan bli toxiska för idisslare när spannmålen används som foder, om Cu-halter samtidigt är låga. De höga halterna av Mo är främst kopplade till områden med alunskiffer i berggrunden, som t.ex. delar av Västergötland och runt Storsjön i Jämtland. I Västergötland har problem med höga Mo-halter uppmärksammats och utreds för närvarande (Axelsson, 2011). Kvoten av Cu/Mo-halten bör inte understiga 2-3 för att Cu-brist ska kunna undvikas och alltför höga Mo-halter leder till Cu-brist och Mo-förgiftning hos framförallt nötkreatur och får (McDowell, 2003). I den undersökta spannmålen har ca 7-17 % av proverna mindre kvot än den kritiska. För att undvika Cu-brist och Mo-förgiftning hos idisslare tillsätts ofta Cu i form av mineralfoder. Molybden i grödan behöver ytterligare uppmärksamhet så att tillförseln av koppar till djurfoder kan optimeras efter de befintliga Mo- och Cu-halterna.

Halter av mikronäringsämnen i halm

Halmanalyser ingår inte i miljöövervakningen och för att få fram data över de olika mikronäringsämnena i halm och fördelningen mellan kärna och halm, gjordes en litteraturgenomgång, se tabell 4 i appendix. Utifrån litteratursiffror har sedan halten i halm beräknats utifrån medelhalten i kärna hos respektive gröda, se tabell 1 samt tabell 5 i appendix. Andelen av mikronäringsämnen som omlagras från vegetativ biomassa till kärna (remobiliseringen) varierar beroende på deras rörlighet i växten. Vissa ämnen, t.ex. mangan, är svårörligt i floemet och därför omlagras bara en relativt liten del av den totala mängden som finns i växten. Halterna i halm kan därför bli relativt höga jämfört med dem i kärnan. För koppar och zink är halterna i kärnan istället oftast högre än i halmen. För flera ämnen påverkas också omlagringen av koncentrationen och bindningsform i växtens vegetativa del. Om koncentrationen i växtens gröna delar är låg och ämnet är bundet i växtens strukturer så att det inte kan frigöras påverkar detta halten i kärnan. Det betyder också att förhållandet mellan vegetativ biomassa och kärna (skördeindex) kan ha en signifikant påverkan på halten i kärnan. Olika halter i kärnan hos olika sorter odlade på samma mark skulle kunna förklaras med skillnader i skördeindex samt av sortens förmåga att mobilisera olika näringsämnen från marken.

Variationerna i fördelningen mellan kärna och halm kan enligt litteraturläsa vara mycket stora. Dessutom är vår kunskap om mobilisering och omlagring av mikronäringsämnen från gröna delar till kärnor mycket bristfällig. I tabellen anges enbart ett värde baserat på medianvärdet i kärnorna. Om halten i kärnan samt skördeindex är kända kan ett mer specifikt värde räknas ut och variationen i halmens halter skulle kunna anges.

Mängder av mikronäringsämnen i en årsskörd av svensk spannmål

I tabell 2 redovisas mängderna av mikronäringsämnen som förs bort med grödan (kärnskörd) per hektar och år för höstvet, vårkorn samt havre. Intervall visas som representerar olika skördenivåer och i appendix, tabell 6 finns uppgifter för tre olika skördenivåer (låg, medel och hög). Mängderna som förs bort med kärnskörd varierar kraftigt för de olika ämnena. För nickel och molybden, de ämnen som förs bort i de minsta kvantiteterna, varierar mängden mellan 0,2 och 4,9 g per hektar och år beroende på gröda och skördenivå. För mangan och zink, som förs bort i de största kvantiteterna, uppgår mängderna till ca 30-200 g ha⁻¹ år⁻¹, dvs 50-100 gånger så mycket. I jämförelse med t.ex. kväve där kärnskörd ofta innehåller över 100 kg per hektar, är innehållet av samtliga mikronäringsämnen väldigt litet, vilket ju är karakteristiskt för dessa ämnen. Om också halmen bärgas från fältet och avyttras från gården blir givetvis bortförslin större. Mängderna som bortförs med halm är inte redovisade, men kan uppskattas från halterna i tabell 1.

Tabell 2. Mängder av mikronäringsämnen i kärnskörd av höstvet, vårkorn och havre vid olika skördenivåer (14 % vattenhalt). Mängderna är beräknade utifrån medelhalterna för respektive gröda

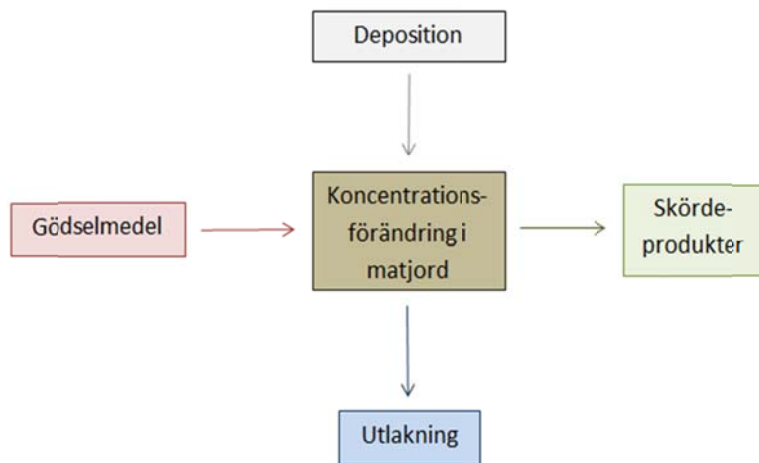
Table 2. Micronutrient content in grain yield of winter wheat, spring barley and oats at different yield levels (14 % water content). The amounts are calculated from mean concentrations for each crop

Ämne	Mängd i kärnskörd (g ha ⁻¹ år ⁻¹)		
	Höstvet (4-8 t ha ⁻¹)	Vårkorn (2,5-6 t ha ⁻¹)	Havre (2,5-6 t ha ⁻¹)
B	3,0-6,1	-	-
Cu	14-27	9,7-23	8,0-19
Fe	120-241	-	-
Mn	93-186	30-72	80-191
Mo	2,4-4,7	1,3-3,1	1,5-3,6
Ni	0,5-0,9	0,2-0,4	2,7-6,5
Zn	86-172	65-157	67-160

Spannmålsgrödorna skiljer sig åt när det gäller upptag av mikronäringsämnen. Med samma skörd så tar t.ex. korn upp minst av Mn, Mo och Ni men mest av Cu. Med undantag för Cu är havre den av de tre spannmålsslagen som generellt har störst upptag per ton skörd. Eftersom skörden för höstvet oftast är högre än för vårkorn och havre blir den totala bortförslin av mikronäringsämnen räknat per hektar och år ändå störst vid odling av höstvet.

Flöden och fältbalanser av mikronäringsämnen för höstvetodling med olika gödsling

För att få en uppfattning av vilka mängder som flödar till och från ett fält samt hur fältbalansen i marken ser ut för mikronäringsämnen, presenteras fyra scenarier med höstvetodling som visas i tabell 7-10 i appendix. En sammanfattande balansberäkning för hur förändringen i matjorden ser ut för de olika gödslingsstrategierna visas i tabell 3. Flöden av mikronäringsämnen till och från fältet inkluderar tillförsel via gödselmedel och deposition och bortförslin via skörd och utlakning (fig. 1). Vid beräkningarna har antagits att flödena via deposition, bortförslin med grödan samt utlakning är desamma i de fyra scenarier medan tillförseln med gödselmedel är olika. Järn har inte kunnat tas med i beräkningarna p.g.a. att uppgifter om järnhalter saknas för de flesta gödselmedel. Järnförrådet i marken är mycket stort jämfört med det av andra ämnen och Fe-balanser har därför förmodligen ingen större relevans ur grödans synpunkt.



Figur 1. Huvudsakliga flöden av mikronäringsämnen till och från åkermark (schematisk bild).

Bortförsel med skörd

Det största flödet av mikronäringsämnen bort från fältet är det via skörden, se tabell 6. Undantaget är Ni där utlakningen är större än bortförseln via skörden. Detta innebär att skördenivån har en kraftig inverkan på fältbalansen. I beräkningarna har antagits att endast kärnskoroden bortförs från fältet och att halmen stannar kvar. Om halmen bärgas från fältet blir givetvis bortförseln av mikronäringsämnen större, men detta påverkar endast balanserna om halmen avyttras från gården och inte recirkuleras tillbaka till åkermarken via t.ex. stallgödsel. Ungefärliga mängder av mikronäringsämnen i halm går att räkna fram från halterna i tabell 1.

Tillförsel via deposition

Mängden av mikronäringsämnen som kommer till marken via deposition från luften varierar mellan $0,3 \text{ g ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ för Mo och ca $80 \text{ g ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ för Zn. Depositionen av mikronäringsämnen sker till relativt stor del genom våtdeposition, vilket innebär att nedfallet är större i nederbördsrika områden såsom i västra Sverige än i de östra delarna av landet. Kustnära områden har i regel en högre deposition av ämnen som förekommer i havssalter, t.ex. av bor och selen.

Mängderna som tillförs fälten från luften är större än de som tillförs med mineralgödsel för samtliga ämnen utom mangan. För t.ex. Zn är tillförseln via depositionen per år enligt beräkningarna mer än tio gånger större än tillförseln via mineralgödsel och depositionen av Ni och B är i nivå med grödans totala behov. Detta visar tydligt att nedfall kan ha stor betydelse för grödans försörjning och bör beaktas när man studerar grödornas upptag av mikronäringsämnen. Det bör dock poängteras att det främst är den del som hamnar direkt på växten som är av betydelse för grödans försörjning. Hur stor andel av det som deponeras på bladen som tas upp i grödan behöver också ytterligare utredas. Studier tyder dock på att upptaget via deposition kan vara betydande för flera spårelement såsom t.ex. bly, men även för de essentiella ämnena nickel och koppar (Dalenberg & van Driel, 1990; Yläntä, 1996).

Uppgifter om depositionen av B över Sverige saknas, enbart data från en mätstation som ligger på västkusten är tillgängliga. Även om värdet har korrigerats vid skattningen av ett medelvärde för hela landet (se *Material och metoder*), kan bordepositionen vara överskattad i balanserna.

Tabell 3. Förändring av mikronäringsämneshalter i matjord per hektar och år vid tillförsel av olika gödselslag (mineralgödsel, avloppsslam, svinflytgödsel samt nötflytgödsel) (balansberäkning) till höstvet (skördenivå 6 000 kg ha⁻¹). Se tabell 7-10 i appendix för detaljer

Table 3. Change in micronutrient concentrations in topsoil per hectare and year with different fertilizers (mineral fertilizer, sewage sludge, pig slurry and cattle slurry) applied to winter wheat (yield level 6 000 kg ha⁻¹). See table 7-10 in appendix for details

Ämne	Haltförändring i mark (g ha ⁻¹ år ⁻¹)			
	Mineralgödsel	Avloppsslam	Svinflytgödsel	Nötflytgödsel
B	+16	+54	+118	+181
Cu	-13	+286	+155	+128
Mn	-72	+15	+112	+541
Mo	-4,9	+0,5	+1,5	+10
Ni	-2,2	+13	+0,7	+7,7
Zn	-62	+417	+540	+488

Tillförsel via gödselmedel

När det gäller mineralgödselmedel förekommer mikronäringsämnena främst som föroreningar i fosforgödselmedel. Det finns givetvis även mineralgödsel med specifika tillsatser av mikronäringsämnena, men dessa har inte tagits med i beräkningarna. Halterna av mikronäringsämnena och föroreningar varierar mellan olika fosforgödselmedel beroende på var råfosfaten har brutits och hur gödselmedlen har framställts. Som underlag för beräkning har ett NPK-S (21-4-7)-gödselmedel från dåvarande Hydro Agri AB använts (Eriksson, 2001). Jämför man detta gödselmedel med ett rent fosforgödselmedel, P 20, så blir tillförseln räknat per kilo fosfor något större med P 20 än med NPK för de flesta ämnena, utom för Mn där tillförseln blir betydligt mindre (Eriksson, 2001). Det ämne som tillförs i störst mängd med NPK-gödselmedel är Mn; motsvarande drygt 100 g ha⁻¹ vid en fosforgiva på 15-20 kg P ha⁻¹. Detta är i nivå med grödans behov, men det är oklart hur växttillgängligt Mn och andra mikronäringsämnena är i mineralgödselmedel. I relation till markens totala koncentration är trots allt Mn-tillförseln begränsad. Med samma NPK-gödsel blir motsvarande Mo-tillförsel endast ca 0,05 g ha⁻¹. I förhållande till grödans behov är Mo-tillskottet med NPK-gödsel obetydligt.

I regel tillförs mer mikronäringsämnena med organiska gödselmedel än med mineralgödselmedel. Det finns dock stora skillnader i halter mellan olika organiska gödselmedel. Beräkningar har gjorts för tre organiska gödselmedel baserade på den maximalt tillåtna tillförseln av 22 kg fosfor per hektar och år, som gäller för jordar i P-AL-klass III-V. Mängden motsvarar en tillförsel av ca 0,7 ton ts avloppsslam, ca 1,0 ton ts svinflytgödsel eller ca 3 ton ts nötflytgödsel. Användningen av avloppsslam på åkermark innebär ett signifikant tillskott av framförallt Cu men även av Mn och Zn. Halterna av mikronäringsämnena i stallgödsel är till stor del beroende av om fodermineral köps till gården eller inte. De allra flesta djurbesättningar får någon form av mineraltillskott, men om eget foder utan mineraltillsats ges till djuren recirkuleras största delen av fodrets innehåll utan nettotillskott. Tillförsel av svinflytgödsel påverkad av fodermineraltillskott till grisarna ger det största tillskottet av zink bland de organiska gödselmedlen och tillför också relativt stora mängder av Mn och Cu. Det är också viktigt att sätta siffrorna i relation till grödans behov och inte enbart titta på den totala tillförseln. Med nötflytgödsel tillförs ganska små mängder Mo, ca 15 g ha⁻¹, men eftersom grödans behov bara är ca 5-6 g ha⁻¹ kan tillskottet ändå vara betydelsefullt för grödans försörjning. Hur betydelsefullt tillskottet av mikronäringsämnena är beror också på hur

växttillgängliga de är i de olika gödselmedlen (se vidare under avsnittet *Balansernas praktiska betydelse*).

Förluster via utlakning

Mikronäringsämnen utlakas genom markprofilen till dräneringsvattnet vilket innebär en förlust i fältbalansen. Utlakningssiffrorna som redovisas i tabell 7-10 i appendix gäller bara för ämnen lösta i markvätskan medan partikelbunden utlakning redovisas i en separat kolumn. En del jordar, framförallt lerjordar, har en relativt stor förlust av näringsämnen inklusive mikronäringsämnen i partikelbunden form. Utlakning av mikronäringsämnen i löst form ligger mellan ca 4 g ha⁻¹ för Cu och Ni och upp till 39 g ha⁻¹ för Mn. Uppgifter på utlakning av B och Mo saknas. Som framgår av tabell 7-10 är partikelbunden utlakning av mikronäringsämnen betydligt större än av lösta mikronäringsämnen från lerjordar. När näringsämnen försvinner tillsammans med jordpartiklar minskar det totala förrådet men koncentrationen av näringsämnet i marken påverkas oftast i liten grad. Eftersom mikronäringsämnenas växttillgänglighet snarare än markförrådet oftast är begränsande för grödans försörjning påverkas grödan i större utsträckning av utlakning i löst form än av partikelbundna förluster. Det bör poängteras att siffrorna för utlakningen i partikelbunden form är hämtat från endast ett försöksfält och förmodligen kan variationen vara mycket stor mellan olika lerjordar.

Balanser för olika gödslingsstrategier

För fält där gödsling enbart sker med mineralgödsel (scenario 1) är balansen negativ för alla mikronäringsämnen, dvs. halterna av mikronäringsämnen i marken minskar över tid. (se vidare under avsnittet *Balansernas praktiska betydelse*). Undantaget är bor där de positiva balanserna förmodligen orsakas av att siffror för utlakningen saknas. Om utlakningen skulle tas med är det troligt att även balansen för detta ämne blir negativ. Tillförseln med mineralgödsel är mindre än bortförseln med skörden för de flesta ämnen. För B är dock tillförseln något större än bortförseln och för Mn är till- och bortförseln ungefär på samma nivå. Man bör också komma ihåg att tillförsel via mineralgödsel förutsätter gödsling med fosforgödselmedel. I de fall där endast kvävegödselmedel tillförs fås inget tillskott av mikronäringsämnen via gödslingen. Bortförseln storlek varierar från knappt ett gram per hektar och år för Ni upp till ca 200 g ha⁻¹ för Mn vid den högsta skördenivån.

Vid tillförsel av organiska gödselmedel (avloppsslam eller stallgödsel; scenarierna 2-4), är fältbalanserna positiva för alla mikronäringsämnen. När det gäller Cu tillförs stora mängder med avloppsslam som resulterar i en positiv balans på ca 280 g ha⁻¹. Tillförseln av mangan är störst vid tillförsel av nötflytgödsel och ger en positiv balans på ca 540 g ha⁻¹. Idisslare har ett större behov av Mn än grisar, särskilt vid reproduktionen, vilket gör att fodertillskottet av Mn är större till mjölkkor än till grisar (McDowell, 2003). Detta är förmodligen den främsta orsaken till högre Mn-halter i nöt- än i svingödsel. Värphöns har ett ännu större Mn-behov än mjölkkor och grisar, vilket innebär ett ännu större tillskott av Mn till marken via höns- än övrig stallgödsel. Balansen för Zn är mest positiv vid gödsling med svingödsel och resulterar i ett överskott på ca 540 g Zn ha⁻¹. Zn-behovet är större för svin än för nötkreatur och dessutom tillsätts extra Zn till fodret vid avvänjningen av smågrisar för att undvika diarréer (McDowell, 2003). Fastgödsel från smågrisproduktion har därför i regel högre halter av zink än flytgödsel från slaktsvin.

Det bör poängteras att balansberäkningarna gäller fält med odling av höstvet. Vid balansberäkningar för hela gården kan resultaten bli annorlunda beroende på vilka övriga grödor som odlas på gården, djurintensiteten på gården, vilka mineralfoder som ges till djuren, vilket reningsverk man tar emot avloppsslam ifrån och vilken typ av mineralgödsel

som används. Ofta kombineras tillförseln av stallgödsel eller avloppsslam med kväve i form av mineralgödsel. Detta påverkar dock inte balansen i någon högre grad eftersom kvävegödselmedel inte innehåller några mikronäringsämnen.

På djurgårdar är det vanligt att åtminstone en del av halmen från spannmålsfälten bärgas och används som strö till djuren. Denna halm återfinns sedan i stallgödseln och recirkuleras tillbaka till åkerarealen på gården. I balansberäkningarna har bortförseln med skörden begränsats till enbart kärnskörd och omfattar inte bortförsel med halm. Detta innebär en underskattning av den mängd av olika mikronäringsämnen som lämnar fältet och därmed blir nettot i balanserna med stallgödsel (scenario 3 och 4) något för stort. Anledningen till att bara bortförsel via kärnskörd trots detta ingår i balanserna är att data både över halterna av mikronäringsämnen i halm och hur stor del av den totala halmmängden som via stallet återförs till fältet med stallgödseln är osäkra (se tabell 4). En överslagsräkning visar att mängden mikronäringsämnen som finns i gödseln är mycket större än mängden i det halmströ som normalt används till mjölkkor respektive slaktsvin. I djupströbäddar blir dock andelen halmströ mycket större och i dessa system bör beräkningarna även inkludera halmens innehåll av mikronäringsämnen.

Balansernas praktiska betydelse

Växtodling baserad på tillförsel av enbart makronäringsämnen (NPKS) i form av mineralgödsel medför en utarmning av mikronäringsämnen och övriga spårelement i marken på sikt. Detta kan leda till brist i grödan, men en annan viktig fråga är också om kvaliteten hos livsmedel och fodermedel försämras på sikt. Beräkningarna visar att utarmningen i marken går fortast för Mo, följt av Cu och Zn. I balansen för Mo saknas dessutom data för utlakningen vilket gör att förändringstakten underskattas. I ett räkneexempel nedan visas hur snabbt matjordens kopparförråd minskar i ett fall när växtnäringen tillförs i form av mineralgödsel och utarmningen därför går som fortast (scenario 1).

Räkneexempel Cu: För Cu är fältbalansen negativ motsvarande ca $26 \text{ g ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ för en lerjord med stor partikelförlust. Medianhalten för Cu i matjorden är ca 11 mg kg^{-1} , vilket innebär en mängd på ca 42 kg Cu ha^{-1} i matjorden (djup 30 cm; densitet $1,25 \text{ g cm}^{-3}$). Detta innebär att det skulle ta omkring 160 år innan 10 % av Cu-förrådet i matjorden förts bort.

Ovanstående exempel tyder på att utarmning av den totala mängden av mikronäringsämnen i marken är en mycket långsam process. Om man dessutom beaktar att inte all koppar tas upp från matjorden utan även från resten av markprofilen (1-2 m djup), skulle en 10 % -minskning ta ännu längre tid. Dessutom orsakar inte den partikelbundna förlusten någon direkt koncentrationsförändring men eftersom den påverkar den totala förrådsstorleken har den ändå inkluderats. För övriga ämnen tar det ca 150-800 år för en förrådsminskning på 10 % (med samma överskattning). Hastigheten är också beroende av vilken typ av fosforgödselmedel som används. För Mo går det inte att ange någon tidsperiod eftersom uppgifter om utlakningen saknas. Utan att hänsyn tas till detta blir motsvarande siffra 10 procents minskning på ca 90 år vilket är en underskattning.

I mer grovkorniga jordar, som inte har någon större partikelbunden utlakning av växtnäringsämnen, är förändringen av Cu-halterna ännu långsammare än på lerjordar. Å andra sidan kan utarmningen av Cu i marken också gå fortare än i ovanstående beräkning. Om halm kontinuerligt förs bort från fältet och avyttras från gården blir den bortförda mängden mikronäringsämnen betydligt större per år. Dessutom finns det många jordar som har betydligt lägre Cu-halter än det medianvärd som beräkningen är baserad på. Låga halter av

t.ex. Mo, Cu och Zn kan då bli ett problem tidigare. Cirka 10 % av de svenska jordarna har Cu-halter på 5 mg kg⁻¹ eller lägre. För dessa jordar tar det endast 80 år tills förrådet har minskat med 10 % och för jordar med de lägsta Cu halterna sker motsvarande förändring på ca 30 år. För de jordar med de lägsta Mo-halter går förändringarna ännu fortare. Många mulljordar har låga halter av olika mikronäringsämnen, t.ex. Cu (Eriksson, 2010; Nilsson, 1982) och här blir ofta de totala förråden också mindre eftersom volymvikten är betydligt lägre än i mineraljordar.

Det är viktigt att poängtera att balansberäkningarna är baserade på totala mängder i marken och inte på den växttillgängliga fraktionen av ett ämne. Om den växttillgängliga delen av markens totala innehåll är liten kan även en mindre utarmning leda till brist hos grödan. Studier har visat att halterna av Cu, Fe och Co i grödan kan bli något lägre vid intensiv NPK-gödsling i jämförelse med odling utan NPK-gödsel (Kirchmann et al., 2009). Detta tyder på att marken inte nödvändigtvis kan försörja en högvakastande gröda med tillräcklig mängd mikronäringsämnen trots att det finns ett stort förråd. Beräkningarna i denna rapport är baserade på odling av höstvet. För grödor vars upptag av mikronäringsämnen är större än för höstvet, t.ex. sockerbetor och potatis, blir bortförseln större och utan tillförsel av mikronäringsämnen utarmas markens fortare än vid höstvetodling.

Även om balansberäkningar visar på en anrikning i marken vid tillförsel av organiska gödselmedel, är nettotillförseln relativt liten i relation till markens totala innehåll av mikronäringsämnen. En avgörande fråga är därför hur växttillgängliga de tillförda mikronäringsämnena är i organiska gödselmedel. Om mikronäringsämnena är mer växttillgängliga i organiska gödselmedel än i markens förråd kan tillförseln vara betydelsefull för grödans försörjning trots att kvantiteten är liten. Om man antar att större delen av mikronäringsämnena i organiska gödselmedel kan frigöras på några odlingssäsonger, kan dessa gödselmedel till stor del täcka grödans behov (jämför balanserna med siffrorna för upptag, tabell 6, för respektive ämne). Vår kunskap om växttillgänglighet av mikronäringsämnen i olika organiska gödselmedel är bristfällig och det är därför svårt att värdera de organiska gödselmedlens roll för grödans försörjning med mikronäringsämnen.

Slutsats

Frågor som rör mikronäringsämnen är mycket angelägen ur ett produktions- och kvalitetsperspektiv, både i Sverige och globalt. Många länder har stora problem med brist på ett eller flera mikronäringsämnen i åkermarken, dels för att det förorsakar stora skördesänkningar men också för att det leder till brist hos både människor och husdjur. Även problem med toxicitet, d.v.s. för höga halter i åkermark, förekommer i ett flertal länder. I Sverige är dock problem med toxicitet ovanliga och stora skördebegränsningar p.g.a. brist är inte heller allmänt kända. Trots detta finns det anledning att uppmärksamma att problem finns för några ämnen. Det gäller främst låga halter av koppar och mangan samt ev. bor som kan vara skördebegränsande. I vissa områden i Sverige är halterna i marken mycket låga eller växttillgängligheten kan vara så begränsad att skördesänkningar p.g.a. dolda brister kan förekomma. Med andra ord, det kan finnas problem som inte har uppmärksammats i fält. Vidare kan låga nickel- och eventuellt borhalter orsaka problem i utsädesproduktionen genom försämrad grobarhet. Höga molybdenhalter, som i kombination med låga Cu-halter kan orsaka förgiftning hos framförallt nötkreatur förekommer i landet och bör vidare kartläggas och utredas.

Markens utarmning på mikronäringsämnen sker mycket långsamt, men långvarig bortförsel som ej ersätts genom gödsling kan öka problemen med brist. Molybden är det ämne som är mest kritiskt ur denna synpunkt. Brist hos grödan p.g.a. att den växttillgängliga fraktionen i marken är liten kan också vara ett problem. I fält som gödslas med mikronäringsämnen sker ofta en anrikning i marken och detta gäller också för fält som regelbundet får tillskott genom organiska gödselmedel. Det saknas i dagsläget kunskap om dynamiken och mängden mikronäringsämnen som kan frigöras från organiskt växtmaterial. Utökad kunskap krävs för att kunna avgöra betydelsen av tillförsel av organiskt material till åkermark för grödans försörjning av mikronäringsämnen.

Vilka de kritiska koncentrationerna för de olika mikronäringsämnena är som ger upphov till brist i grödan behöver utredas vidare. Det undersökta materialet visar också att halterna av kobolt och selen i spannmål är alltför låga för att tillgodose behovet för människa och husdjur. Dessa ämnen har inte behandlats i denna rapport men frågan kräver vår uppmärksamhet och bör studeras i detalj.

Referenser

- Allaway, W.H. 1968. *Agronomic control over the environmental cycling of trace elements*. I: Norman, A.G. *Advances in Agronomy*, vol 20. 235-274. Academic Press Inc., London, UK.
- Alloway, B.J (ed), 2008. *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*. Springer, London, UK, 354 pp.
- Andersson, A. och Nilsson, K.O. 1975. *Effekter på tungmetallerna i mark och växt vid tillförsel av rötslam som växtnäringskälla och jordförbättringsmedel*. Rapporter från avd. för växtnäringslära nr 96, Lantbrukshögskolan, Uppsala.
- Andersson, A., Gustafson, A., Torstensson, G. 1988. *Utlakning av spårelement från odlad jord*. Ekohydrologi 26, Avd.för vattenvårdslära, SLU.
- Andersson, A. 1992. *Trace elements in agricultural soils- fluxes, balances and background values*. Naturvårdsverket. Rapport 4077.
- Axelsson, U. 2011. Personligt meddelande 2011-04-19
- Bergmann, 1992. *Colour atlas nutritional disorders of plants: visual and analytical diagnosis*. Fisher, Jena, Tyskland, 386 s.
- Brown, P.H., Welch, R.M., Cary, E.E. 1987a. Nickel: A Micronutrient Essential for Higher Plants. *Plant Physiology*, 85, 801-803.
- Brown, P.H., Welch, R.M., Cary, E.E., Checkai, R.T. 1987b. Beneficial effects of Nickel on plant growth. *Journal of Plant Nutrition*, 10 (9-16), 2125-2135.
- Carlgren, K. 2003. *Fältförsök med koppargödsling* . Avd. för växtnäringslära, SLU, rapport 203.
- Dalenberg, J.W. & van Driel, W. 1990. Contribution of atmospheric deposition to heavy metal concentration in field crop. *Netherlands Journal of Agricultural Sciences*, 38, 369-379.
- Eriksson, J. 2001. *Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, mineralgödsel, nederbörd samt i jord och gröda*. Naturvårdsverket. Rapport 5148.
- Eriksson, J., Andersson, A., Andersson, R. 1997. *Tillståndet i svensk åkermark*. Naturvårdsverket. Rapport 4778.
- Eriksson, J., Mattsson, L. & Söderström, M. 2010. *Tillståndet i svensk åkermark och gröda – data från 2001-2007*. Naturvårdsverket. Rapport 6349.
- Eriksson, J., Stenberg, B., Andersson, A. & Andersson, R. 2000. *Tillståndet i svensk åkermark och spannmålsgröda – jordartens betydelse för markegenskaperna, samband markfaktorer och elementhalter i kärna*. Naturvårdsverket. Rapport 5062.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C., Clark, R.B. 2002. *Micronutrients in Crop Production*. I: *Advances in Agronomy*, 77, 185-268. Elsevier Science, USA.

- Frostgård, G. & Olsson, C-M. 2012. Inte bara N, P och K. *Yara, Växtpressen*, 41, 1, 14-18.
- Garnett, T.P. & Graham, R.D. 2005. Distribution and Remobilization of Iron and Copper in Wheat. *Annals of Botany*, 95(5), 817-826.
- IVL Svenska Miljöinstitutet. 2008. Metaller i mossor. Hemsida. [online] Tillgänglig: [http://www3.ivl.se/db/plsql/dvsmossa\\$.startup](http://www3.ivl.se/db/plsql/dvsmossa$.startup) [2011-05-05]
- Kabata-Pendias, A. 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*. 3^e upplagan. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 413 pp.
- Kashin, V.K. & Ubugunov, L.L. 2009. Microelement Accumulation Barrier in Cereal Grain. *Doklady Biological sciences*, 425, 151-153.
- Kirchmann, H., Andersson, A. & Eriksson, J. 2010. Spårelement i svensk åkermark och gröda. I: Selinius, O. (red). *Medicinsk Geologi*, s. 229-258. Studentlitteratur, Lund, Sverige.
- Kirchmann, H. & Eskilsson, J. 2010. Low manganese (Mn) and copper (Cu) concentrations in cereals explained yield losses after lime application to soil. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science*, 60, 569-572.
- Kirchmann, H., Mattsson, L., Eriksson, J. 2009. Trace element concentration in wheat grain: results from the Swedish long-term soil fertility experiments and national monitoring program. *Environmental Geochemistry and Health*, 31, 561-571.
- Kirkby, E.A. & Römhild, V. 2004. *Micronutrients in plant physiology: Functions, uptake and mobility*. The International fertilizer Society, Proceedings no 543.
- Hill, J., Robson, A.D & Loneragan, J.F. 1978. The effects of copper and nitrogen supply on the retranslocation of copper in four cultivars of wheat. *Aust. J. Agric. Res*, 29, 925-929.
- Li, B., Li, H., Kui, W.H., Chao, M.C., Jern, W.S., Li, H.P., Chu, W.J. & Wang, C.L., 1978. Studies on cause of sterility in wheat. *J. Northeastern Agric. College* 3, 1-19 (in Chinese with English translation).
- Liu, K., Peterson, K.L., Raboy, V. 2007. Comparison of the phosphorus and mineral concentrations in bran and abraded kernel fractions of a normal barley (*Hordeum vulgare*) cultivar versus four low phytic acid isolines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4453-4460.
- Lundblad, K. & Johansson, O. 1956. Resultat av de senaste årens svenska mikroelementsförsök. I. Försök med koppar. Statens Jordbruksförsök, meddelande nr 61.
- Lombi, E., Smith, E., Hansen, T.H., Paterson, D., de Jonge, M.D., Howard, D.L., Persson, D.P., Husted, S., Ryan, C. & Schjoerring, J.K. 2011. Megapixel imaging of (micro)nutrients in mature barley grains. *Journal of Experimental Botany*, 62 (1), 273-282.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2:a upplagan. Academic Press, London, Great Britain, 889 pp.

- Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1987. *Principles of Plant Nutrition*. 4:e upplagan. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- McDowell, L.R. 2003. *Minerals in animal and human nutrition*. 2:a upplagan. Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands, 644 pp.
- Naturvårdsverket. 1993. *Metallerna och miljön. Miljön i Sverige-tillstånd och trender (MIST)*. Rapport 4135.
- Nilsson, L-G. 1982. De organogena jordarna som odlingsjordar. III Växtnäringsfrågor på mulljordar. *Kungl. Skogs och Lantbruksakademiens tidskrift*, 3 (121), 109-112.
- Rerkasem, B., Bell, R.W., Lodkaew, S. & Loneragan, J.F. 1997. Relationship of seed boron concentration to germination and growth of soybean (*Glycine max*). *Nutrient cycling in Agrosystems*, 48, 217-223.
- Rerkasem, B. & Jamjod, S. 2004. Boron deficiency in wheat: a review. *Field Crops Research*, 89, 173-186.
- Rerkasem, B & Loneragan, J.F. 1994. Boron deficiency in two wheat genotypes in a warm, subtropical region. *Agronomy Journal*, 86, 887-890.
- Riley, M.M., Gartrell, J.W., Brennan, R.F., Hamblin, J. & Coates, P., 1992. Zinc deficiency in wheat and lupins in Western Australia is affected by the source of phosphate fertilizer. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32, 455-463.
- SCB (Statistiska Centralbyrån). 2011. *Normskördar för skördeområden, län och riket 2011*. Statistiska meddelanden JO 15 SM 1101.
- Sinclair, A.H. & Edwards, A.C. 2008. Micronutrient Deficiency Problems in Agricultural Crops in Europe. I: Alloway, B.J (red). *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*. 225-244. Springer, London, UK.
- Singh, M.V. 2008. Micronutrient Deficiencies in Crops and Soils in India. I: Alloway, B.J (red). *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*. 93-126. Springer, London, UK.
- Steineck, S., Gustafson, G., Andersson, A., Tersmeden, M. & Bergström, J. 1999. *Stallgödselns innehåll av växtnärings och spårelement*. Naturvårdsverket. Rapport 4974.
- Svanberg, O. 1971. *De svenska skördeprodukternas innehåll av växtnäringsämnen*. Statens lantbrukskemiska laboratorium (SLL), meddelande 37.
- Wróbel, S. 2009. Response of spring wheat to foliar fertilization with boron under reduced boron availability. *Journal of Elementology*, 14 (2), 395-404.
- Ylärinta, T. 1996. Uptake of heavy metals by plants from airborne deposition and polluted soils. *Agricultural and food science in Finland*, 5, 431-447.

Appendix

Tabell 1. Halter av mikronäringsämnen i svenska höstvetekärnor indelade i tre klasser (låg, medel och hög) baserade på percentiler. Data från miljöövervakningen (ca 900 kärnprov) samt jämförelsevärden med ungefärliga gränser för brist resp. toxicitet.

Table 1. Concentrations of micronutrients in grains of Swedish winter wheat subdivided in three classes (low, medium and high) based on percentiles. Data from the Swedish Monitoring Programme (app.900 samples) and critical concentrations for deficiency and toxicity for comparison.

Ämne	Ungefärlig gräns för brist (mg kg ⁻¹)	Halter i svenska höstvetekärnor (mg kg ⁻¹ ts)					Risk för toxiska effekter (mg kg ⁻¹) ^b
		Medelhalt	Medianhalt	Låga halter, 0-25%-percentilen	Medelhalter, 25-75%-percentilen	Höga halter, 75-100%-percentilen	
B ^f	i.u.	0,88	0,88	0,6-0,8	0,8-1,0	1,0-1,5	i.u.
Cu	~2-3 ^a	3,90	3,98	1,0-3,3	3,3-4,5	4,5-7,1	>20
Fe ^f	<26 ^{a,g}	37,4	35,0	21-32	32-40	40-206	>500-1000
Mn	~10-20 ^b	28,7	27	4,0-21	21-34	34-110	>200-500
Mo	~0,1 ^b	1,00	0,69	0,03-0,4	0,4-1,1	1,1-18	>10-50 ^d
Ni	~0,1 ^{a,c}	0,18 ^e	0,13 ^e	<0,08 ^e	0,08-0,2	0,2-1,9	>50
Zn	~10-15 ^b	26,4	25,0	13-22	22-30	30-72	>200

^a Bristgräns i kärna (Alloway, 2008; Brown, 1987a; Garnett & Graham, 2004; Kirchmann & Eskilsson, 2010; Sinclair & Edwards, 2008)

^b Brist-resp. toxicitetgräns i gröna växtdelar (blad el. hela plantor) (Alloway, 1968; Alloway, 2008; Fageria et al, 2002; Kabata-Pendias, 2001; Marschner, 1995; Mengel & Kirkby, 1987; Riley, 1992)

^c Gäller gränsvärde för optimal groning (ej skörd)

^d Toxiska effekter hos idisslare 5-10 mg kg⁻¹

^e Många värden under detektionsgränsen (=0,05 mg kg⁻¹), ^f Resultat från ca 300 prover tagna 2001-2007

^g Data endast från en studie (Garnett & Graham, 2004)

Tabell 2. Halter av mikronäringsämnen i svenska vårkornkärnor indelade i tre klasser (låg, medel och hög) baserade på percentiler. Data från miljöövervakningen (ca 620 kärnprov) samt jämförelsevärden med ungefärliga gränser för brist resp. toxicitet.

Table 2. Concentrations of micronutrients in grains of Swedish spring barley subdivided in three classes (low, medium and high) based on percentiles. Data from the Swedish Monitoring Programme (app.620 samples) and critical concentrations for deficiency and toxicity for comparison.

Ämne	Ungefärlig gräns för brist (mg kg ⁻¹)	Halter i svenska vårkornkärnor (mg kg ⁻¹ ts)					Risk för toxiska effekter (mg kg ⁻¹) ^b
		Medelhalt	Medianhalt	Låga halter, 0-25%-percentilen	Medelhalter, 25-75%-percentilen	Höga halter, 75-100%-percentilen	
B	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.
Cu	~2-3 ^a	4,56	4,50	1,0-3,6	3,6-5,3	5,3-12	>20
Fe	<26 ^{a,g}	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.	>500-1000
Mn	~10-20 ^b	15,3	14,0	5,0-12	12-18	18-48	>200-500
Mo	~0,1 ^b	0,88	0,61	0,08-0,4	0,3-1,1	1,1-12	>10-50 ^d
Ni	~0,1 ^{a,c}	0,07 ^e	<0,05 ^e	<0,05 ^e	<0,05-0,08	0,08-1,3	>50
Zn	~10-15 ^b	31,7	30,4	11-25	25-37	37-80	>200

^a Bristgräns i kärna (Alloway, 2008; Brown, 1987a; Garnett & Graham, 2004; Kirchmann & Eskilsson, 2010; Sinclair & Edwards, 2008)

^b Brist-resp. toxicitetsgräns i gröna växtdelar (blad el. hela plantor) (Alloway, 1968; Alloway, 2008; Fageria et al, 2002; Kabata-Pendias, 2001; Marschner, 1995; Mengel & Kirkby, 1987; Riley, 1992)

^c Gäller gränsvärde för optimal groning (ej skörd)

^d Toxiska effekter hos idisslare 5-10 mg kg⁻¹

^e Många värden under detektionsgränsen (=0,05 mg kg⁻¹)

^f Resultat från ca 300 prover tagna 2001-2007

^g Data endast från en studie (Garnett & Graham, 2004)

Tabell 3. Halter av mikronäringsämnen i svenska havrekärnor indelade i tre klasser (låg, medel och hög) baserade på percentiler. Data från miljöövervakningen (ca 430 kärnprov) samt jämförelsevärden med ungefärliga gränser för brist resp. toxicitet.

Table 2. Concentrations of micronutrients in grains of Swedish oats subdivided in three classes (low, medium and high) based on percentiles. Data from the Swedish Monitoring Programme (app.430 samples) and critical concentrations for deficiency and toxicity for comparison.

Ämne	Ungefärlig gräns för brist (mg kg ⁻¹)	Halter i svenska havrekärnor (mg kg ⁻¹ ts)					Risk för toxiska effekter (mg kg ⁻¹) ^b
		Medelhalt	Medianhalt	Låga halter, 0-25%-percentilen	Medelhalter, 25-75%-percentilen	Höga halter, 75-100%-percentilen	
B	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.
Cu	~2-3 ^a	3,60	3,60	1,1-2,9	2,9-4,2	4,2-9,2	>20
Fe	<26 ^{a,g}	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.	>500-1000
Mn	~10-20 ^b	44,9	44,0	8,0-33	33-56	56-116	>200-500
Mo	~0,1 ^b	0,95	0,76	0,09-0,5	0,5-1,2	1,2-8,7	>10-50 ^d
Ni	~0,1 ^{a,c}	1,25	0,76	<0,05-0,5	0,5-1,4	1,4-23,3	>50
Zn	~10-15 ^b	33,7	32,0	13-26	26-40	40-68	>200

^a Bristgräns i kärna (Alloway, 2008; Brown, 1987a; Garnett & Graham, 2004; Kirchmann & Eskilsson, 2010; Sinclair & Edwards, 2008)

^b Brist- resp. toxicitetsgräns i gröna växtdelar (blad el. hela plantor) (Alloway, 1968; Alloway, 2008; Fageria et al, 2002; Kabata-Pendias, 2001; Marschner, 1995; Mengel & Kirkby, 1987; Riley, 1992)

^c Gäller gränsvärde för optimal groning (ej skörd)

^d Toxiska effekter hos idisslare 5-10 mg kg⁻¹

^e Många värden under detektionsgränsen (=0,05 mg kg⁻¹)

^f Resultat från ca 300 prover tagna 2001-2007

^g Data endast från en studie (Garnett & Graham, 2004)

Tabell 4. Litteraturvärden över halter av mikronäringsämnen i kärna resp. halm samt andelen av mikronäringsämnen i växtens ovanjordiska del som återfinns i kärnan. Kursiv stil anger att andelsvärdet är skattat med antagandet att skördeindex= 0,50.

Table 4. Literature data on concentrations of micronutrients in grain and straw and proportion of micronutrients in the whole plant that is found in the grain. Italics indicates that the proportion value has been estimated assuming a harvest index= 0,50.

Ämne	Gröda	Konc.(mg kg ⁻¹)		Andel i kärna (%)	Referens
		Kärna	Halm		
<u>B</u>	Vårvete	1,47	3,35	30	Kashin & Ubugunov, 2009
	Vårvete	1,35	4,35	24	Wróbel, 2009
	Havre	2,29	4,30	35	Kashin & Ubugunov, 2009
	Medel	1,7	4,0	30	
<u>Cu</u>	Vårvete	4,9	3,8	56	Andersson & Nilsson, 1975
	Vårvete	6,0	2,6	70	
	Vårvete	5,8	2,8	67	
	Vårvete (Tillf. 9,60 mg Cu g ⁻¹ jord)			62	Garnett & Graham, 2005
	Vårvete (Tillf. 0,89 mg Cu g ⁻¹ jord)			40	
	Vårvete	4,1	i.u.	67	Hill et al., 1978
	Vårvete	0,7	i.u.	35	
	Vårvete	2,82	1,85	60	Kashin & Ubugunov, 2009
	Havre	4,8	4,3	53	Andersson, 1992
	Havre	3,30	1,80	65	Kashin & Ubugunov, 2009
	Höstvete	4,5	1,3	78	Andersson, 1992
	Vårkorn	6,0	3,3	65	Andersson, 1992
	Råg	4,4	1,6	65	Kirkby & Römheld, 2004
	Medel	4,3	2,6	60	
<u>Fe</u>	Vårvete			77	Garnett & Graham, 2005
	Vårvete	66	149	31	Kashin & Ubugunov, 2009
	Råg	26	78	18	Kirkby & Römheld, 2004
	Havre	51	137	27	Kashin & Ubugunov, 2009
	Medel	48	121	38	
<u>Mn</u>	Vårvete	136	419	25	Andersson & Nilsson, 1975
	Vårvete	83	209	28	
	Vårvete	65	80	45	
	Vårvete	64,0		27	Garnett & Graham, 2005
	Vårvete	43	48	47	Kashin & Ubugunov, 2009
	Råg	27	16	53	Kirkby & Römheld, 2004
	Havre	40	46	47	Kashin & Ubugunov, 2009
	Medel	65	136	39	
<u>Mo</u>	Vårvete	0,76	1,30	37	Kashin & Ubugunov, 2009
	Råg	0,33	0,17	56	Kirkby & Römheld, 2004
	Havre	1,05	1,88	37	Kashin & Ubugunov, 2009
	Medel	0,71	3,35	43	

Tabell 4 forts.
Table 4 cont.

Ämne	Gröda	Konc.(mg kg ⁻¹)		Andel i kärna (%)	Referens
		Kärna	Halm		
<u>Ni</u>	Vårvete	1,21	0,62	66	Andersson & Nilsson, 1975
	Vårvete	0,27	0,75	27	
	Vårvete	0,16	0,31	34	
	Vårvete	0,46	0,95	33	Kashin & Ubugunov, 2009
	Råg	0,28	0,62	23	Kirkby & Römheld, 2004
	Havre	0,54	1,11	33	Kashin & Ubugunov, 2009
	Medel Ni	0,49	4,36	36	
<u>Zn</u>	Vårvete	68	52	57	Andersson & Nilsson, 1975
	Vårvete	40	26	61	
	Vårvete	22	18	55	
	Vårvete	49,6		42	Garnett & Graham, 2005
	Vårvete	32,1	10,0	76	Kashin & Ubugunov, 2009
	Råg	25	7	70	Kirkby & Römheld, 2004
	Havre	29,3	7,0	81	Kashin & Ubugunov, 2009
	Medel Zn	38	20	63	

Tabell 5. Andel av mikronäringsämnen i växtens ovanjordiska del som vanligtvis återfinns i kärnan (referens till tabell 4) samt uppskattning av halten i halm av spannmålsgrödor (medelvärde samt för höstvet, vårkorn resp. havre).

Table 5. Proportion of micronutrient content of overground material that usually is located in grain (reference to table 4) and estimated concentrations in cereal straw (mean value and winter wheat, spring barley and oats)

Ämne	Andel i kärnan av ovanjordisk biomassa (%), (min-max)	Kommentar	Medelhalt i spannmålskärna (mg kg ⁻¹)	Uppskattad medelhalt i spannmålshalm (mg kg ⁻¹) ^a
B	30 (25-35)	Bristfälliga uppgifter	0,9 ^b	2,1 ^b
Cu	60 (40-70)	Mindre omlagring vid låg halt i växten	4,0	2,7
Fe	38 (30-70)	Bristfälliga uppgifter. Stor variation	37 ^b	60 ^b
Mn	39 (25-45)	Hög immobilitet i floemet	30	47
Mo	43 (35-55)	Bristfälliga uppgifter	0,9	1,2
Ni	36 (25-65)	Stor variation. Större omlagring vid mkt höga halter i växten	0,5 ^c	0,9
Zn	63 (40-80)	Stor variation	29	17

^a Uppskattningen av halten i halmen utgår från medelhalten i kärnan av höstvet, vårkorn och havre (medelhalt) och ett skördeindex på 0,50

^b Endast siffror för höstvet (ca 300 prover)

^c Stor andel prover under detektionsgränsen (=0,05 mg kg⁻¹ ts)

Tabell 6. Mängder av mikronäringsämnen i kärnskörd av höstvet, vårkorn och havre vid tre olika skördenivåer; för höstvet 4 000, 6 000 och 8 000 kg ha⁻¹, för vårkorn och havre 2 500, 4 000 och 6 000 kg ha⁻¹ (14 % vattenhalt).

Table 6. Amounts of micronutrients in grain yield of winter wheat, spring barley and oats at three yield levels; for winter wheat 4 000, 6 000 och 8 000 kg ha⁻¹ and for spring barley and oats 2 500, 4 000 and 6 000 kg ha⁻¹ (14 % water content)

Ämne	Mängd i kärnskörd (g ha ⁻¹ år ⁻¹)		
	Låg skörd (2 500-4 000 kg ha ⁻¹)	Medelskörd (4 000-6 000 kg ha ⁻¹)	Hög skörd (6 000-8 000 kg ha ⁻¹)
<u>Höstvet</u>			
B	3,0	4,5	6,1
Cu	13	20	27
Fe	129	193	257
Mn	99	148	197
Mo	3,4	5,2	6,9
Ni	0,6	0,9	1,2
Zn	91	136	182
<u>Vårkorn</u>			
B	-	-	-
Cu	9,8	16	24
Fe	-	-	-
Mn	33	53	79
Mo	1,9	3,0	4,5
Ni	0,2	0,3	0,4
Zn	68	109	164
<u>Havre</u>			
B	-	-	-
Cu	8,0	12	19
Fe	-	-	-
Mn	97	154	232
Mo	2,0	3,3	4,9
Ni	2,7	4,3	6,5
Zn	72	116	174

Tabell 7. *Scenario 1: Gödsling med enbart mineralgödsel.* Flöden och balanser för mikronäringsämnen på fält med höstveteodling på mineraljord vid tre olika sködenivåer och tillförsel av NPK 21-4-7 (15-20 kg P ha⁻¹). Beräkningarna är baserade på medianhalter för resp. ämne. Balansen längst till höger inkluderar utlakning både i löst- och partikulär form.

Table 7. *Scenario 1: Fertilization with only inorganic fertilizers. Flows and balances for micronutrients on field with winter wheat on mineral soil on three yield levels and application of NPK 21-4-7 (15-20 kg ha⁻¹). Calculations are based on median concentrations for each element. The balance to the far right includes micronutrient leaching both in soluble form and with soil particles.*

Ämne	Skördenivå (kg ha ⁻¹)	Bortförsel med kärnskörd (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Tillförsel med deposition (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Tillförsel med mineralgödsel (g ha ⁻¹ år ⁻¹), 15-20 kg P	Utlakning i löst form (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Balans, (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Utlakning i partikulär form (lerjordar) (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Balans (g ha ⁻¹ år ⁻¹)
<u>B</u>	4 000	-3,0	+13	+7,5	i.u.	+18	i.u.	-
	6 000	-4,5	+13	+7,5	i.u.	+16	i.u.	-
	8 000	-6,1	+13	+10	i.u.	+17	i.u.	-
<u>Cu</u>	4 000	-13	+10	+1,1	-4,3	-6,2	-15	-21
	6 000	-20	+10	+1,1	-4,3	-13	-15	-28
	8 000	-27	+10	+1,4	-4,3	-20	-15	-35
<u>Mn</u>	4 000	-99	+12	+103	-39	-23	-123	-146
	6 000	-148	+12	+103	-39	-72	-123	-195
	8 000	-197	+12	+137	-39	-87	-123	-210
<u>Mo</u>	4 000	-3,4	+0,3	+0,05	i.u.	-3,1	i.u.	-
	6 000	-5,2	+0,3	+0,05	i.u.	-4,9	i.u.	-
	8 000	-6,9	+0,3	+0,06	i.u.	-6,5	i.u.	-
<u>Ni</u>	4 000	-0,6	+2,5	+0,15	-3,9	-1,9	-12	-14
	6 000	-0,9	+2,5	+0,15	-3,9	-2,0	-12	-14
	8 000	-1,2	+2,5	+0,2	-3,9	-2,4	-12	-14
<u>Zn</u>	4 000	-91	+80	+1,3	-7,5	-17	-69	-86
	6 000	-136	+80	+1,3	-7,5	-62	-69	-131
	8 000	-182	+80	+1,7	-7,5	-108	-69	-177

Tabell 8. *Scenario 2: Gödsling med avloppsslam*. Flöden och balanser av mikronäringsämnen på fält med höstveteodling där med tillförsel av avloppsslam (22 kg P ha⁻¹ år⁻¹). Beräkningarna är baserade på medianhalter för resp. ämne. Balansen längst till höger inkluderar utlakning både i löst- och partikulär form.

Table 8. *Scenario 2: Fertilization with sewage sludge*. Flows and balances for micronutrients on field with winter wheat on mineral soil with sewage sludge application (22 kg P ha⁻¹). Calculations are based on median concentrations for each element. The balance to the far right includes micronutrient leaching both in soluble form and with soil particles.

Ämne	Skördenivå (kg ha ⁻¹)	Bortförsel med kärnskörd (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Tillförsel via deposition (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Tillförsel med avloppsslam (g ha ⁻¹ år ⁻¹), 22 kg P (0,7 ton ts ha ⁻¹ år)	Utlakning löst form (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Balans (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Utlakning partikulär form (lerjordar) (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Balans (g ha ⁻¹ år ⁻¹)
<u>B</u>	4 000	-3,0	+13	+45	i.u.	+55	i.u.	-
	6 000	-4,5	+13	+45	i.u.	+54	i.u.	-
	8 000	-6,1	+13	+45	i.u.	+52	i.u.	-
<u>Cu</u>	4 000	-13	+10	+300	-4,3	+293	-15	+278
	6 000	-20	+10	+300	-4,3	+286	-15	+271
	8 000	-27	+10	+300	-4,3	+279	-15	+264
<u>Mn</u>	4 000	-99	+12	+190	-39	+64	-123	-59
	6 000	-148	+12	+190	-39	+15	-123	-108
	8 000	-197	+12	+190	-39	-34	-123	-157
<u>Mo</u>	4 000	-3,4	+0,3	+5,4	i.u.	+2,3	i.u.	-
	6 000	-5,2	+0,3	+5,4	i.u.	+0,5	i.u.	-
	8 000	-6,9	+0,3	+5,4	i.u.	-1,2	i.u.	-
<u>Ni</u>	4 000	-0,6	+2,5	+15	-3,9	+13	-12	+1,2
	6 000	-0,9	+2,5	+15	-3,9	+13	-12	+0,9
	8 000	-1,2	+2,5	+15	-3,9	+12	-12	+0,6
<u>Zn</u>	4 000	-91	+80	+480	-7,5	+462	-69	+398
	6 000	-136	+80	+480	-7,5	+417	-69	+355
	8 000	-182	+80	+480	-7,5	+371	-69	+312

Tabell 9. Scenario 3: *Gödsling med svinflytgödsel*. Flöden och balanser av mikronäringsämnen på fält med höstvetedling där tillförsel av fosfor sker via flytgödsel från slaktsvin (22 kg P ha⁻¹ år⁻¹). Beräkningarna är baserade på medianhalter för resp. ämne. Balansen längst till höger inkluderar utlakning både i löst- och partikulär form.

Table 9. Scenario 3: *Fertilization with pig slurry*. Flows and balances for micronutrients on field with winter wheat on mineral soil with pig slurry application (22 kg P ha⁻¹). Calculations are based on median concentrations for each element. The balance to the far right includes micronutrient leaching both in soluble form and with soil particles.

Ämne	Skördenivå (kg ha ⁻¹)	Bortförsel med kärnskörd (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Tillförsel via deposition (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Tillförsel via svingödsel (g ha ⁻¹ år ⁻¹), 22 kg P (ca 1 ton ts ha ⁻¹)	Utlakning (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Balans (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Utlakning partikulär form (lerjordar) (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Balans (g ha ⁻¹ år ⁻¹)
<u>B</u>	4 000	-3,0	+13	+109	i.u.	+119	i.u.	-
	6 000	-4,5	+13	+109	i.u.	+118	i.u.	-
	8 000	-6,1	+13	+109	i.u.	+116	i.u.	-
<u>Cu</u>	4 000	-13	+10	+169	-4,3	+162	-15	+146
	6 000	-20	+10	+169	-4,3	+155	-15	+139
	8 000	-27	+10	+169	-4,3	+148	-15	+133
<u>Mn</u>	4 000	-99	+12	+287	-39	+161	-123	+44
	6 000	-148	+12	+287	-39	+112	-123	-2,0
	8 000	-197	+12	+287	-39	+63	-123	-49
<u>Mo</u>	4 000	-3,4	+0,3	+6,4	i.u.	+3,3	i.u.	-
	6 000	-5,2	+0,3	+6,4	i.u.	+1,5	i.u.	-
	8 000	-6,9	+0,3	+6,4	i.u.	-0,2	i.u.	-
<u>Ni</u>	4 000	-0,6	+2,5	+3,0	-3,9	+1,0	-12	-11
	6 000	-0,9	+2,5	+3,0	-3,9	+0,7	-12	-11
	8 000	-1,2	+2,5	+3,0	-3,9	+0,4	-12	-11
<u>Zn</u>	4 000	-91	+80	+603	-7,5	+585	-69	+521
	6 000	-136	+80	+603	-7,5	+540	-69	+478
	8 000	-182	+80	+603	-7,5	+494	-69	+435

Tabell 10. *Scenario 4: Gödsling med nötflytgödsel.* Flöden och balanser av mikronäringsämnen på fält med höstveteodling med tillförsel av nötflytgödsel från mjölkcor (22 kg P ha⁻¹ år⁻¹). Beräkningarna är baserade på medianhalter för resp. ämne. Balansen längst till höger inkluderar utlakning både i löst- och partikulär form.

Table 10. *Scenario 4: Fertilization with dairy slurry. Flows and balances for micronutrients on field with winter wheat on mineral soil with dairy slurry application (22 kg P ha⁻¹). Calculations are based on median concentrations for each element. The balance to the far right includes micronutrient leaching both in soluble form and with soil particles.*

Ämne	Skördenivå (kg ha ⁻¹)	Bortförsel med kärnskörd (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Tillförsel via deposition (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Tillförsel via stallgödsel (g ha ⁻¹ år ⁻¹), 22 kg P (ca 3 ton ts ha ⁻¹)	Utlakning (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Balans (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Utlakning partikulär form (lerjordar) (g ha ⁻¹)	Balans (g ha ⁻¹)
<u>B</u>	4 000	-3,0	+13	+172	i.u.	+182	i.u.	-
	6 000	-4,5	+13	+172	i.u.	+181	i.u.	-
	8 000	-6,1	+13	+172	i.u.	+179	i.u.	-
<u>Cu</u>	4 000	-13	+10	+142	-4,3	+135	-15	+119
	6 000	-20	+10	+142	-4,3	+128	-15	+112
	8 000	-27	+10	+142	-4,3	+121	-15	+106
<u>Mn</u>	4 000	-99	+12	+716	-39	+590	-123	+473
	6 000	-148	+12	+716	-39	+541	-123	+427
	8 000	-197	+12	+716	-39	+492	-123	+383
<u>Mo</u>	4 000	-3,4	+0,3	+15	i.u.	+12	i.u.	-
	6 000	-5,2	+0,3	+15	i.u.	+10	i.u.	-
	8 000	-6,9	+0,3	+15	i.u.	+8,4	i.u.	-
<u>Ni</u>	4 000	-0,6	+2,5	+10	-3,9	+8,0	-12	-3,7
	6 000	-0,9	+2,5	+10	-3,9	+7,7	-12	-3,9
	8 000	-1,2	+2,5	+10	-3,9	+7,4	-12	-4,1
<u>Zn</u>	4 000	-91	+80	+551	-7,5	+533	-69	+469
	6 000	-136	+80	+551	-7,5	+488	-69	+426
	8 000	-182	+80	+551	-7,5	+442	-69	+383

I denna serie publiceras forsknings- och försöksresultat från institutionen för mark och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet.

In this series research results from the department of Soil and Environment at the Swedish University of Agricultural Sciences are reported.

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för mark och miljö

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil and Environment

Box 7014
SE-750 07 Uppsala
<http://www.slu.se/mark>